

НАНОКОМУНИКАЦИОННИ УСТРОЙСТВА И МРЕЖИ

Лекция 6.

БАКТЕРИАЛНИ КОМУНИКАЦИИ

Доц. д-р инж. Галя Маринова
2020 г.

План

1. Общи сведения за бактериите
2. Бактериални комуникации и наномрежи

Прокариоти

Прокариотната клетка е микроорганизъм с необособено хранилище на генетичната информация - клетъчно ядро, но притежава условна групировка от протеини и ДНК в **нуклеоид**. Прокариотите са едноклетъчни организми, и за разлика от **еукариотите** нямат обособено ядро. То е без ядрена мембрана и поради това се нарича още **нуклеоид**, с една пръстеновидна хромозома в него.

Прокариотите са организми, които нямат клетъчно ядро или какъвто и да е друг мембранно ограничен органел.

Прокариот е синоним на думата **предядрен**. Те спадат към **Царство Монера** (**предядрени едноклетъчни организми**).

Рядко се срещат многоклетъчни представители от прокариотен тип.

Прокариоти (2)

Прокариотните организми се намират навсякъде в околната среда, както и в живите организми.

Имат различни форми (морфология)

- Сферична, пръчковидна, и др.

Обикновено са в размер от няколко микрона

Налични са в повечето жилища

- в околната среда (например в почвата)
- в човешкото тяло

Прокариоти (1)

Повечето прокариоти са бактерии.

Цианобактериите също са прокариоти. Те имат мембранки с багрила - зелени (хлорофил), кафяви, оранжеви и др.

Някои бактерии образуват **колонии** от много клетки, но всяка клетка е идентична с останалите и може да живее самостоятелно.

Тези колонии се образуват благодарение на **слизестото вещество** отделяно от клетките на някои видове или защото клетките не са се разделили след клетъчното делене.

Съвременните генетични и филогенетични проучвания показват, че **царство Монера** се разделя на две групи - **Еубактерии** и **Архебактерии**.

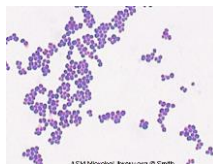
Двете групи се различават по структурата на РНК и рибозомите, строежа на клетъчната обвивка.

Коки

Коки – бактерия с кръгла форма

Стафилококи Staphylococci

Стрптококи Streptococcus



<http://www.flashcardmachine.com>

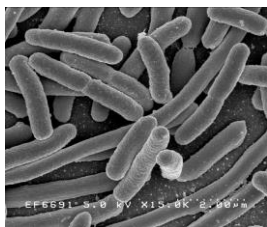
<http://www.universityofcalifornia.edu>

Ешерихия коли E. Coli

Ешерихия коли

Escherichia coli

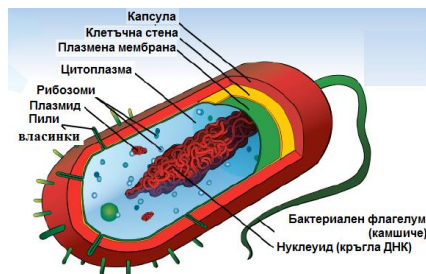
- 2µm дължина,
- 0.25 – µm диаметър



<http://www.universityofcalifornia.edu>



Бактерия – Изглед от вътре



<http://en.wikipedia.org>



Жизнени функции

Жизнена среда и функции на бактериите:

- Рециклиране на хранителни вещества;
- Човешко тяло (микробиум, микрофлора);
- Храносмилане, защита и поддръжка за имунната система;

Може и да са вредни!! Холера, респираторни инфекции;

Имат множество добри индустриални приложения;

- Третиране на каналните води;
- Разбиване на нефтени заливи;
- Биотехнология.



Места, където живеят бактериите

Широко разпространение навсякъде и могат да съществуват в много тежки условия

- Най-дълбоките места на земята
- 1900 фута под морското равнище
- Бактерията могат да живеят и на 30000 фута надморска височина
- **Клетъчните телефони се оказаха с повече бактерии от тоалетната чиния** (Новини по Fox 7 news)



www.npr.org

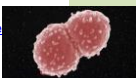


Места, където живеят бактериите

Бактерия оцеляла цяла година в открития Космос

<https://it.dir.bg/nauka/bakteriya-otselyala-tsyal-a-godina-v-otkritiya-kosmos>

- Бактерията *Deinococcus radiodurans* е прекарала година в открития Космос, поставена на специална платформа, закачена за Международната космическа станция, предава ScienceAlert.
- Безтегловността, радиацията, големите температурните амплитуди не са повлияли негативно на бактерията, тя е оцеляла в продължение на година.
- "Космическите" бактерии са с малки издатини по външния си слой и са задействали редица възстановителни механизми, които са обогатили информационната РНК.
- Учените са на мнение, че оцелелите бактерии са развили резистентност към условията в ниска околоземна орбита (в условия на космически вакуум и температурни промени между минус 150 градуса и плюс 150 градуса Целзий)
- Експериментът е много важен, тъй като показва колко лесно може да се пренася живот в Слънчевата система. Освен това разкрива, че е възможно на Марс или някоя друга планета или луна да съществува бактериологична форма на живот.
- Изследването е публикувано в научното издание [Microbiome](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03888-8)
- Бактериите могат да пътуват в космоса върху космическия прах.



Мобилност

Жизненият цикъл на бактериите може да премине при различни условия на околната среда.

Како отделни единици имат ограничена функционалност, и тяхното адаптиране към околната среда е ограничено.

Те разчитат на **подвижността**.

- Подвижността се среща по-често при пръчковидните бактерии, отколкото при сферичните бактерии.
- Използват камшичета (флагела) – външни органи, които служат като витла(перки) за придвижване



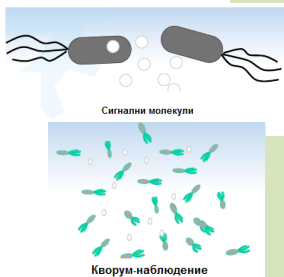
Комуникация чрез сигнални молекули

Комуникация чрез **автоиндуктори** Ацил - хомосерин лактонови Acyl-Homoserine Lactone (AHL)

Авто-индуктор: лекарство, което индуцира ензим, отговорен за неговия собствен Метаболизъм

• Свободната дифузия на малки молекули се използва за бактериална комуникация

• Кворум-наблюдение
Позволява детектирането на плътността на популацията



Примери на комуникация чрез сигнални молекули и Quorum sensing

• ВИБРИОНИ (Vibrio)

Род бактерии с форма на **запетая или къса извита пръчица**. Вибрионите са силно подвижни благодарение на своите полярни **ресни**. Болестотворните вибриони причиняват холера при хората, вибриозен аборт и безплодие при крави и овце и др.

Комуникация чрез quorum sensing: Acyl-Homoserine Lactone (AHL)

– Свързват се към протеина LuxR, който активира транскрипцията на **quorum sensing** гените.

Quorum sensing е система от стимули и реакции, свързана с плътността на популацията – метод за вземане на решения в децентрализирана система.

• Стрептомицети

– Комуникират чрез γ -бутиролактони (структурни аналози на AHL)

– Контролират морфологичната диференциация и вторичното метаболитно производство.

Недостатък: Нисък капацитет от край-до-край

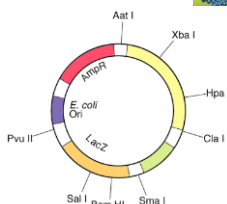


Плазмиди

Кръгли ДНК молекули, които са разделени от хромозомна ДНК.

Процесът на копиране започва от *OriT* (Начало на трансфера), и е еднопосочен.

Плазмидите може да се слейат с Хромозомите.

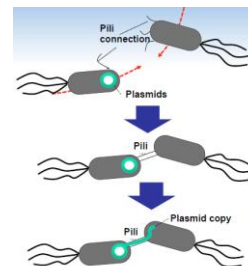


Бактериална конюгация

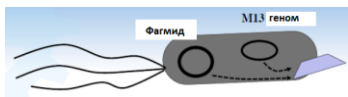
Бактериите може да се свързват (сливат) – процес, който прехвърля плазмиди между бактериите

1. Pili Пилите (власинки) формират връзки
2. Плазмидите преминават през pili

Изисква директен контакт между бактериите



Комуникация чрез бактериофаги (1)



Бактериофаги (или само фаги, от „бактерия“ и гръцката дума *phagein*, „изяждам“) са вирусни частици, паразитиращи само в прокариотни организми. Бактериофагите съдържат протеини ограждащи генетичен материал. Генетичният материал може да бъде ДНК или РНК.

Тези частици са много по-малки от бактериите, които унищожават и размерите им варират от 20 до 200 nm. Открити са през 1917 г.

Обмяна на генетични последователности чрез вируси

• Бактериофаги, Вид вирус, който може да пакутира генетичен материал

• Пример – M13 филаментозен фаг

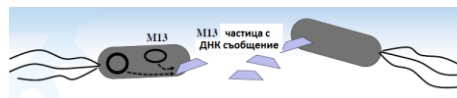
• Фагмиди – плазмиди, които могат да кодират фага на кодирания ДНК последователност (отрязък)

• Генерира M13 съдържащ хетероложен ДНК M13 геномен фагмид

Monica Ortiz, Drew Endy, Engineered cell-cell communication via DNA messaging, Journal of Biological Engineering, vol. 6, no. 16, 2012.



Комуникация чрез бактериофаги (2)



M13 частица с ДНК съобщение

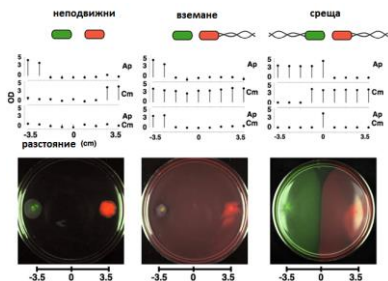
Бактерията изпраща предава ДНК съобщение кодирано чрез хетероложни фагемидни съобщение

- Хетероложното съобщение са пакутирани в M13 частици и са дифузни в средата
- Взимат ги бактериите получатели

Monica Ortiz, Drew Endy, Engineered cell-cell communication via DNA messaging, Journal of Biological Engineering, vol. 6, no. 16, 2012.

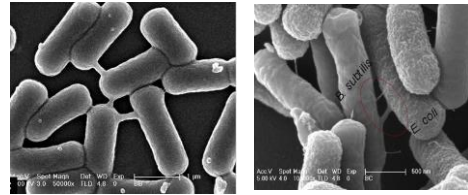


Комуникация чрез бактериофаги (3)



Monica Ortiz, Drew Endy, Engineered cell-cell communication via DNA messaging, Journal of Biological Engineering, vol. 6, no. 16, 2012.

Комуникация чрез нанотръби



Бактерии в твърда среда

- Формират нанотръби между едни и същи видове (Bacillus) и между различни видове (Bacillus и E.coli)
 - Различен размер на тръбите, което показва, че могат да бъдат прехвърлени различни молекули
 - Протеини, йони
 - Плазмиди (не-свързани, не-сляти)
- G.P. Dubey, S. Ben-Yehuda, Intercellular nanotubes mediate bacterial communication, Cell 144 (4) (2011) 590-600.

Обобщение

- Свойства на бактериите
- Примери (Стафилококи, Ешерихия коли - E. Coli)
- Функции и среди, в които съществуват
- Подвижност
- Структурата на камшичето (Flagella)
- Бактериални таксита (химически таксита, магнитни таксита, фототаксита)
- Елементи на бактериалните комуникации
- Сигнални молекули
- ДНК базирани комуникации (свързване (сливане), бактериофаги, нанотръби)

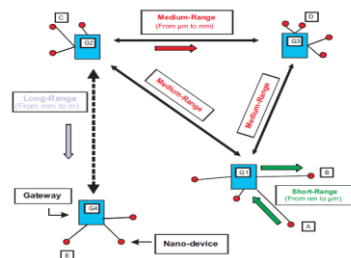
Бактериални наномрежи

- Видове бактериални наномрежи
- Аналогии с класическите комуникации
- Модели на мобилни атохо мрежи
- Бактериални наномрежи
- Социално поведение на бактериите
- Предизвикателства на социалните бактериални наномрежи

Място на бактериалните сред молекулярните комуникации



Архитектура на бактериална наномрежа



Бактерии с флагели



Милиони години бактериите са развивали своите умения и устройство, като ресни, флагела, които им позволяват да преобразуват химическата енергия в движение. *Escherichia coli* (*E. coli*) има между 4 и 10 флагела, които се движат от роторни мотори, разположени на клетъчната мембрана, и подхранвана от химически съединения.

Има и няколко власинки *pili* разпределени по външната мембрана, които дават на бактерията способността да се съединява с други клетки, за да обменят генетичен материал. Това става вследствие на клетъчен процес, наречен **бактериална конюгация**.

E. coli е най-изучаваната прокариотна клетка. Пълната и генетична информация е позната. *E. coli* е дълга приблизително 2 μm и с диаметър 1 μm , обикновено е безвредна и живее в човешкия чревен тракт.

Нейният нуклеид съдържа само една кръгла ДНК молекула и в нейната цитоплазма има няколко малки ДНК нишки подредени в кръг, наречени **плазмиди**, които могат да дадат на бактерията резистивност към някои антибиотици в средата. Те се използват и за генетично инженерство, за да се проведат генетични манипулационни експерименти.

Бактерии с флагели

Предлага се използването на бактериите с флагели, например, *E. coli*, за пренос на ДНК съобщения до коректните получатели.

Първо се избират специфични мутирани бактерии, които единствени реагират на специфичен набор от атрактори.

Второ, ДНК съобщението се вкарва в цитоплазмата на бактерията. Тогава бактерията се пуска в средата и се оставя да следва своите природни инстинкти и по този начин се придвижва към правилния получател който непрекъснато отделя частици атрактор в околната среда.

Плазмид

Плазмидът се прекъсва в рестрикционните области чрез рестрикционни ендонуклеази ДНК пакет. Ензимът DNA Ligase свързва прекъснатия плазмид с ДНК пакета. Новият плазмид се вкарва в бактерията чрез трансформация или електропорация.

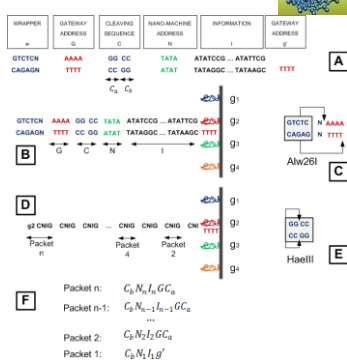
Комуникационният процес се реализира в следните стъпки:



- A. Кодирание и предаване
- B. Разпространение
- C. Получаване и декодиране

Кодирането е процес, при който ДНК пакетът се вкарва в цитоплазмата на бактерията.

Структура на късообхватен ДНК пакет (A). Свързване на късообхватния ДНК пакет към късообхватен чил. (B). Рестрикционни ендонуклеазни ензими (C) и (E) разцепване на ДНК веригите на ограничителни места. (C) се използва за отваряне на адреса на гейтауей и (E) за демултипликисане на пакета. (D) и (F) показват структурата на мултипликисани и демултипликисани пакети, респективно.



Кодирание и предаване

Генетични инженерингови процедури, като плазмиди, **бактериофаги** или Бактериални изкуствени хромозоми (BAC) са добре известни и широко се използват в области като биология и фармация:

Плазмиди са кръгли вериги ДНК, с дължина между 5.000 и 400.000 базови двойки. Кодирането на ДНК пакета в плазмида следва 3 стъпки.

- Първо в плазмидът се разцепва в рестрикционните области чрез рестрикционни ендонуклеази.
- Второ, ДНК пакетът, съдържащ желаната информация се добавя и се свързва към плазмида чрез ДНК лигаза.
- Накрая плазмидът се вкарва в цитоплазмата на бактерията чрез трансформация или електропорация.



Кодирание на ДНК пакет чрез плазмиди

Генетични инженерингови процедури



Бактериофагите са вид вируси, които са по-малки от бактериите (между 20 и 200 nt), и са способни да инфектират бактерията с генетичен материал.

Разработени са бактериофажни **λ вектори**, които могат да се разцепят лесно на 3 парчета, чрез рестрикционни ендонуклеази.

Две от парчетата съдържат основните гени на фага, а третото е наречено **пълинтел** и може да се отстрани и да се замени с целевата ДНК.

Бактериофагът с ДНК пакет в генома ще инфектира бактерията, така че молекулярната информация ще се кодира вътре в бактерията.

Генетични инженерингови процедури (1)

Изкуствените бактериални хромозоми (BAC) са изкуствени плазмиди, проектирани за клониране на дълги вериги ДНК. Процедурата използвана за кодирание на съобщението във BAC е същата като тази в плазмидите. Но в този случай, приемащата бактерия трябва да се промени генетично, за да позволи вкарването на дълги BAC вектори през мембраната.

В началните имплементации ще се създадат **библиотеки с E. coli**, където всяка *E. coli* ще има различна предварително установена кодирана информация, следователно **различни ДНК пакети**. Тези бактерии се натрупват в гейтауей възела, в склад, и всяка бактерия ще е **резистентна към специфичен антибиотик**, което позволява изборът на правилната бактерия. Чрез прилагане на антибиотик върху малка група бактерии, гейтауейт може да избере и изпрати желаните бактерии, които съдържат желаната ДНК информация, към средата, когато това е необходимо (**другите бактерии ще загинат под въздействието на антибиотика**).

E. coli, както и всички други бактерии, може да се репродуцира, и да създава нови бактерии със същия геном, което гарантира, че складът няма да се изпразни. Важно е да се отбележи, че подборът на бактериите чрез антибиотик и наличието на предварително установена кодирана информация, ще улесни проектирането на възела на гейтауей, но и ще ограничи капацитета на системата. Изискват се още изследвания за имплементирането на схемата на кодирание във възела на гейтауей.

Бактериални наномрежи

Два проблема трябва да се изследват в бъдеще:

- Как чуждото парче от ДНК се отразява на бактерията, трябва да се контролира, да не увреди бактерията преносител и да не създаде нишка от вредна бактерия. Това може да се постигне чрез изтриване на източника на репликация на плазмида. Но пък ако плазмидът не може да се клонира, ще се загуби излишъкът от съобщения, който е важна характеристика за сигурността на съобщението в молекулярната комуникационна мрежа. Друга възможност, за изследване е **кодирането на информацията като протеини в мехурчета**.

- Използваният метод на кодиране трябва да се определи чрез отчитане на интеграционната реализуемост на микрониво, например в гейтауей възела и изискванията за количеството информация, което ще се предава. Нанотехнологиите предлагат нови решения, които ще доведат до преосмисляне на настоящите техники.

Плазмидите могат да се синтезират от дракситоните във възела на гейтауей, чрез използване на ДНК изчислителни операции и да се вкарват в бактерията чрез изкуствени биоудължовени придатък наречени пилус, чрез мимикрия на процеса на бактериална конюгация.



Разпространение

Бактериите имат голям брой **химически рецептори** около мембраната, които им позволяват да наблюдават средата за наличието на **атракторни** частици и да се придвижват в посока, където ще намерят по-добри условия на живот. Този процес се нарича **химическо такси**. Това е чудесен природен пример за сигнална трансдукция и той е широко изследван.

E. coli се придвижва чрез серия **правни отсечки и падове**. При правите отсечки, флагелата се върти в посока обратна на часовниковата стрелка, и бактерията плува по приблизително права линия. Падовете се получават по време на кратки периоди, през които бактерията се движи хаотично на едно и също място, защото някои от влакната започват да се въртят по посока на часовниковата стрелка. При правите отсечки, бактерията детектира количеството хранителни вещества (захари, аминокиселини, дипептиди) в средата няколко пъти като използва химическите рецептори по клетъчната мембрана. Сравнявайки получените резултати, бактерията може да вземе решение дали концентрацията на хранителните вещества нараства или намалява. Ако концентрацията нараства, движението по права отсечка е по-дълго.



Получаване и декодиране

- Външната част на гейтауейа може да е **клетъчна мембрана**. Така носещите бактерии разглеждат възела на гейтауей като приемна клетка

- Те следват природните си инстинкти за вкарване на плазмида към възела на гейтауей. Този процес се нарича **бактериална конюгация**.

За да продължи обменът на генетичен материал се изисква директен контакт, който се осъществява чрез бактериален придатък, наречен **пилус**. Този контакт води до сливане на двете мембрани в нещо като мост, през който бактерията донор прехвърля единичната нишка на плазмида.

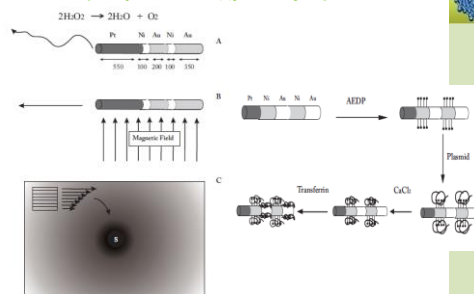
- След като плазмидът е в гейтауейа получател, ДНК- пакетът трябва да се извади от плазмида, което се реализира чрез **restriction endonucleases ензими**, които разкъсват плазмида в **restriction sites**.

- ДНК компютрите са способни да разделят различните ДНК нишки по дължини, което позволява възелът на гейтауей да намери ДНК пакета в разтворена съдържаща разцепения плазмид и ДНК пакета.

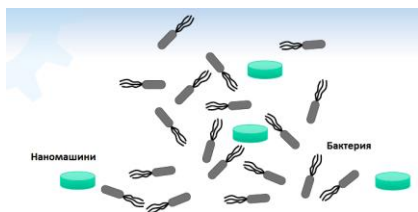
- След това гейтауейат може да процедира с ДНК пакета според изискванията.



Каталитични наномотори (за връзка между гейтауей)

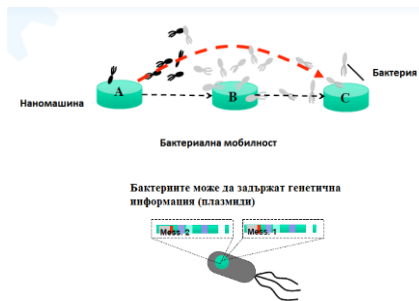


Цел на бактериалните нанокомуникации

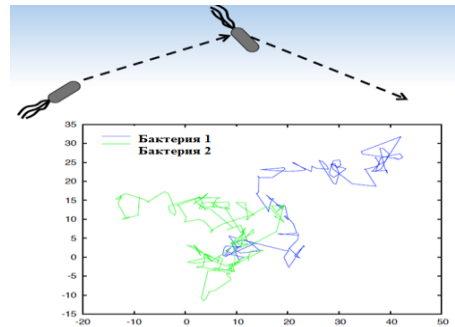


Видове бактериални наномрежи





Модел на бактериалната мобилност



Z. Wang, M. Kim, and G. Rosen. "Validating models of bacterial chemotaxis by simulating the random motility coefficient," in Proc. 8th IEEE Int. Conf. BioInf. BioEng., Athens, Greece, Oct. 2008.

Модел на бактериалната мобилност (1)

E.Coli се мобилизират чрез серии от прави линии и обръщания под произволно химически привличащо въздействие

Разходка под химически привличащо въздействие – Предизвикана произволна разходка

Симуляционен модел

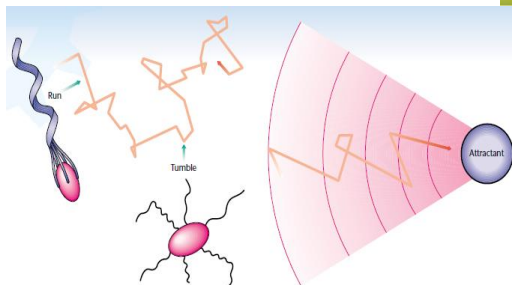
- **Random Walk**, (Експоненциално разпределение, λR)
- **Biased Random Walk**, (Експоненциално разпределение, λR)
- **Период на завой**, (Експоненциално разпределение, λT)
- **Ъгъл на ротация** (равномерно разпределение)

Бактериални химически таксите

Ротация в посока обратна на часовниковата стрелка оказва сила на бутане върху клетката.

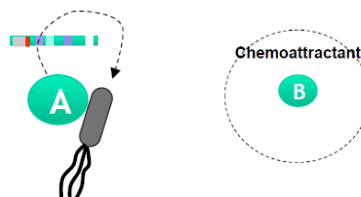
Тъй като камшичетата около клетката имат различна дължина и нейното разпределение не е симетрично, силата на мрежата **не е нула**. В резултат на това, клетката се движи в посоката на силата на мрежата и, поради вискозното съпротивление на средата, камшичетата са избутани към задната част на клетката, което усилва силата на мрежата в посоката на движение, и формират завит наляво пакет, спрямо дългата ос.

Бактериални химически таксите



Бактериални комуникационни мрежи (1)

Бактерията взема съобщението (сливане-свързване)



L. C. Cobo-Rus, I. F. Akyildiz, "Bacteria-based Communication in Nanonetworks", Nano Communication Networks, vol. 1, no. 4, pp. 244-256, December 2010.on, transformation)

Бактериални комуникационни наномрежи (2)

Бактериите плуват към дестинацията на наномашината

Под въздействието на Привличач химикал

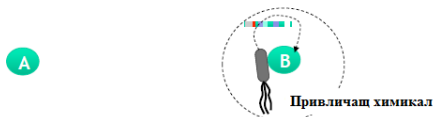
Бактерията плува към дестинацията на наномашината



L. C. Cobo-Rus, I. F. Akyildiz, "Bacteria-based Communication in Nanonetworks", *Nano Communication Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 244-256, December 2010.

Бактериални комуникационни наномрежи (3)

Бактерията зарежда плазмидното съобщение към дестинацията на наномашината чрез конюгация



L. C. Cobo-Rus, I. F. Akyildiz, "Bacteria-based Communication in Nanonetworks", *Nano Communication Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 244-256, December 2010.

Мрежи толерантни към закъснение/прекъсване (DTN)

Мрежи с интермитентна свързаност

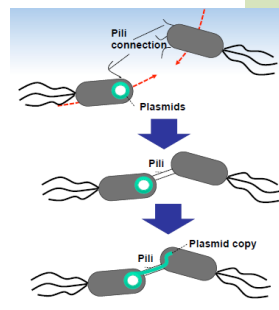
- Екстремни закъснения
- Чести прекъсвания
- Обикновено се прилагат към
- Мобилни ад хок мрежи
- Междупланетни комуникационни мрежи (комуникация между земни и междупланетни връзки е в часове)
- Военни мрежи (където единиците непрекъснато се движат)
- Поема пакети от информация между дестинациите (Мулета на данни)

Бактериална конюгация

Бактериите могат да осъществяват конюгация – процес, който прехвърля плазмиди между бактериите

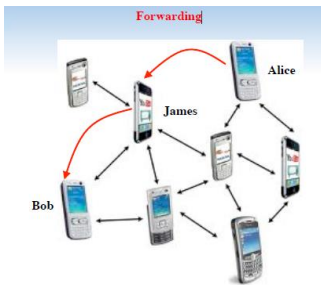
1. Пилите формират връзки
2. Плазмидите могат да преминават през пилите (власинките)

Изисква директен контакт между бактериите



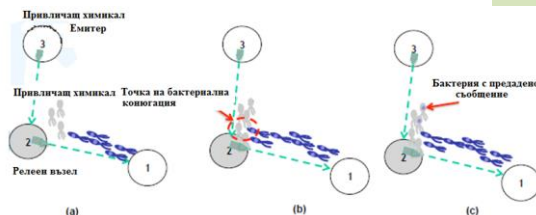
Мобилна DTN (Data transmission network) мрежа за предаване на данни

Прехвърляне напред към нивой



Бактериална наномрежа DTN (за предаване на данни)

Опортунистичното мулти-хоп маршрутизация в бактериалните наномрежи с използване на химически таксите и конюгация. Всяка бактерия съответства на един мобилен възел



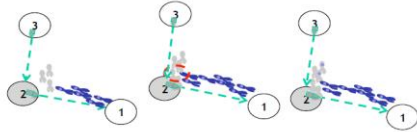
Sasitharan Balasubramaniam, Pietro Lio, "Multi-hop Conjugation based Bacteria Nanonetworks", *IEEE Transactions on NanoBioscience*, vol. 12, no. 1, March 2013.

Аналогии с класическите комуникации

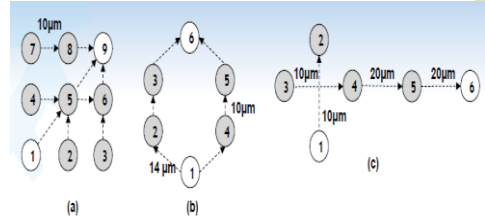
Мобилни ад хок мрежи



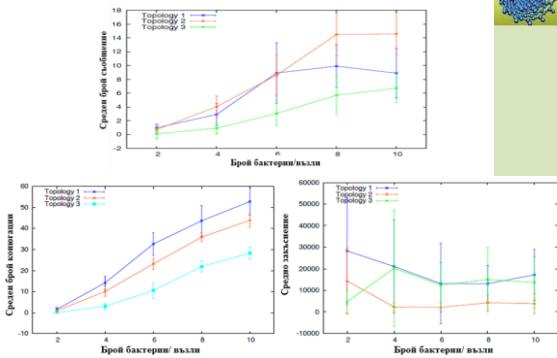
Бактериални ад хок наномрежи



Резултати от симулацията за Бактериални наномрежи за предаване на данни DTN

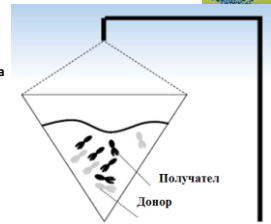


Резултати от симулацията за Бактериални наномрежи за предаване на данни DTN (1)



Експерименти за ковогация

- По принцип ковогацията е трудна
- CRISPR имунна система
- Силно зависи от използваните плазмиди
- Проведени са експерименти в лабораторията Yersinia Lab, Haartman Institute, University of Helsinki (Mikael Skurnik)
- *E.coli* са използвани като донори и *Yersinia Pseudotuberculosis* са използвани като
- Получатели
- 27 Kbp плазмиди
- 2-5x10⁹ бактерии/ml
- Течна среда



Честота на ковогация между *E. coli* и *Y. pseudotuberculosis* в течна среда

Време (min)	20	40	60	100
Честота на ковогация	0.42	0.54	0.66	1.0

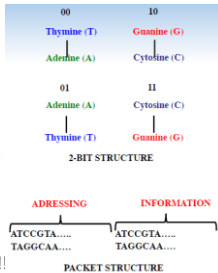
Кодирание на съобщения в плазмиди

Информацията може да се кодира в плазмидите

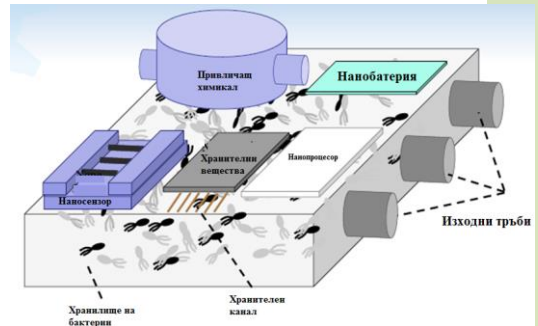
- Примерът показва просто 2 битово кодиране за всяка двойка нуклеотидни бази (Т, А, G, C)

- Кодирането на информацията в ДНК не е ново

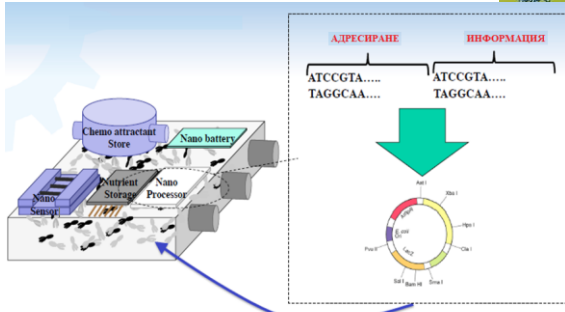
George Church (Wyss Institute, Harvard) направи 70 Billion копия на неговата книга!!!



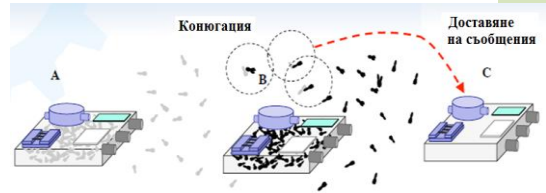
Проектиране на наномашина за бактериални наномрежи



Проектиране на наномашина за бактериални наномрежи (1)



Проектиране на наномашина за бактериални наномрежи (2)



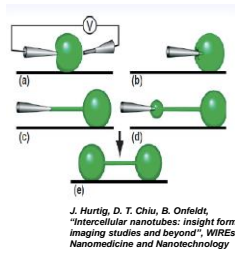
Нанотръбна мрежа от мехури

(NVN)

• Изкуствено създадени нанотръбни мрежи

• на основата на фосфолипидни мембрани

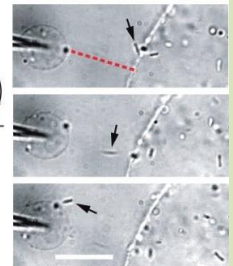
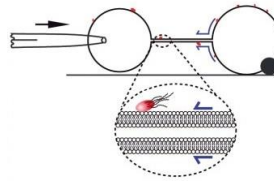
Aldo Jesorka, Chalmers University of Technology



Бактерии сърфиращи върху NVN

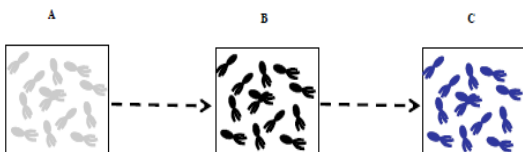
Бактериите могат да сърфират по NVNs

J. Hurtig, D. T. Chiu, B. Onfeldt, "Intercellular nanotubes: insight from imaging studies and beyond", WIREs Nanomedicine and Nanotechnology



Бактерии сърфиращи върху NVN (1)

Връзки основани на популации



Проект MoNoCo (1)

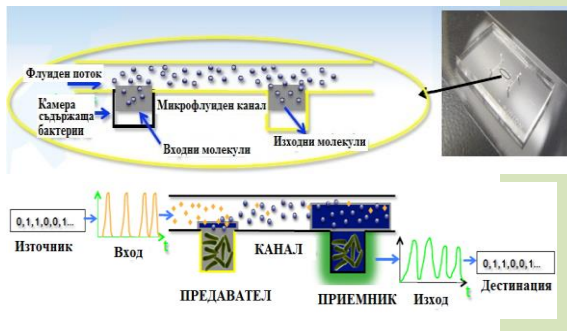
- MoNaCo – Молекулярни и нано-комуникации
- 4 – годишен проект финансиран от NSF

<http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/monaco/projectdescription.html>



Проект MoNoCo (2)

<http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/monaco/projectdescription.html>



Социално-базирани DTN мрежи

В повечето приложения мобилните устройства се носят от хората.....
 *.....следователно, социалните поведения могат да подпомогнат насочването на пакетите

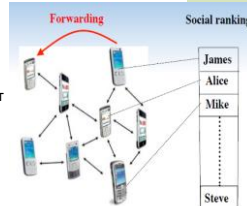
- Организмите имат тенденция да взаимодействат с подобен тип, отколкото с произволни организми от произволен вид.

Сблъсък на мехури

- Социално основано предаване напред
- Детектиране на общността
- Кооперативно или егоистично поведение – Избягване на носенето

на съдържание за други

– Минимизиране на разхода на енергия



Pan Hui, Jon Crowcroft, Eiko Yoneki, BUBBLE RAP: Social-based Forwarding in Delay Tolerant Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011.



Бактериална лингвистика

Бактериална лингвистика

- Смесова комуникация; химически съобщения (семантични) и диалози (прагматична)
- Извлича информация от средата, интерпретира информацията като развива общо знание и поучаване от минал опит
- От множествата общества в колонии и структурирани общности
- Биофилми: съвкупност от бактерии в тънка маса

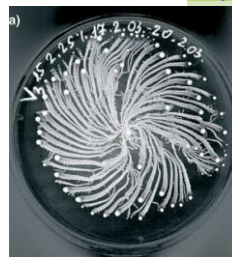
E. Ben Jacob, I. Becker, Y. Shapira, H. Levine, "Bacterial linguistic communication and social intelligence", Trend in Microbiology Vol.12 No.8 August 2004



Комплексни колонии - Сътрудничество

Йерархична организация на коопериране

- Рояци от *Paenibacillus vortex*
- Всеки вихър е съставен от множество клетки, които се движат в рояк
- С различен размер в зависимост от местоположението в колонията
- Клетките във вихъра се свиват и разширяват навън като единица
- Доста сложна динамика - привличане, свиване, свиване и разделяне на върховете



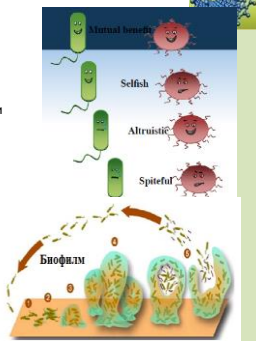
E. Ben Jacob, I. Becker, Y. Shapira, H. Levine, "Bacterial linguistic communication and social intelligence", Trend in Microbiology Vol.12 No.8 August 2004



Социално поведение на бактериите

Съвместност, Егоизъм, Алтруизъм и Злоба

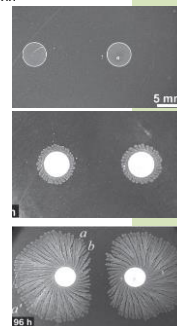
- Взаимодействие позитивно и негативно
- Позитивно – Quorum Sensing
- Негативно – Социални измамници и гратисичии
- Плувачи биофилми в/върху течна/въздушна повърхност
- Секрция на полимери, които им позволяват да плуват
- Измамническото поведение, при което бактерията спира да произвежда полимер -> води до потъване на биофилма
- Бактерията може да насочи измамата към близките си
- Прехвърля кодиран плазмид с кооператива



Състезание (смъртоносно) на бактериите

Бактериите могат да отделят смъртоносни съединения (*bacteriosins*), когато се състезават за ограничени ресурси

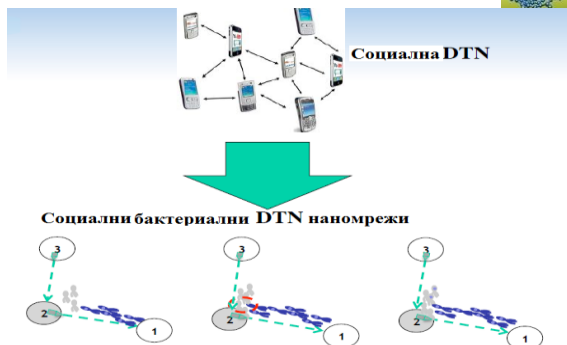
- *Vacillus Subtilis* по време на ранния стадий на образуване на спори може да убие близките си, които стават храна за оцеляване
- Формират сложни колонии, които произлизат от специфични видове пространствени модели
- Развиват стратегии за адаптиране и оцеляване
- Убиването на близки клетки от същата колония (*Paenibacillus Dendritiformis*)



A. Be'er, H. P. Zhang, E. –L. Florin, S. M. Payne, E. Ben-Jacob, H. L. Swinney, "Deadly competition between sibling bacterial colonies", Proceedings of National Academy of Science, vol. 106, no. 2, January 2009 .



Съответствие по аналогия за Социалните DTN



Обобщение

Цел на бактериалните молекулярни комуникации

- Видове бактериални наномрежи
- Бактериална мобилност (използване на конюгацията и подвижността на химическите таксита)
- Плъзгане по нанотръбни мрежи
- Взаимовръзки на популациите (NSF MoNaCo проект)
- Аналогии с класическите комуникации
- Мобилни DTN -> Бактериални наномрежи
- Социални свойства на бактериите
- Социално-базирани DTN

Полезна литература!!!!

M. Gregori, I.F. Akyildiz, "A New NanoNetwork Architecture using Flagellated Bacteria and Catalytic Nanomotors," IEEE JSAC (Journal of Selected Areas in Communications), vol. 28, no. 4, pp. 612-619, May 2010.

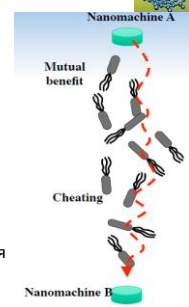
Предизвикателства със Социалните бактериални DTN

Може да нямам контрол върху средата (пр. Хранителни вещества)

- Променящо се поведение на бактериите, което влияе върху надеждността от край до край
- Динамична промяна в средата и популацията от бактерии

Как да се справим с увеличен брой измамници или зловни бактерии?

- Увеличавашо се излишество от съобщения
- Увеличаване на химическите химикали, водещи до мобилност на бактериите



Бактериални наномрежи и Интелигентни градове

Бактериите са широко разпространени в околната среда

- Върху нашите мобилни телефони има най-малко 20,000 бактерии!!!
- Бактериите могат да детектират малки промени в молекулярната концентрация

Примери на бактериални наномрежи за интелигентни градове

- Бактерии произвеждащи биогорива за интелигентни сгради или коли
- Бактерии, които могат да детектират арсен



- Бактериални биогорива
- Сензорни бактерии за арсен

Базисни материали

Nano Communication Networks, Elsevier

Базисни статии

- L. C. Cobo-Rus, I. F. Akyildiz, I. F., "Bacteria-based Communication in Nanonetworks", Nano Communication Networks, vol. 1, no. 4, pp. 244-256, December 2010.
- M. Gregori, I.F. Akyildiz, "A New NanoNetwork Architecture using Flagellated Bacteria and Catalytic Nanomotors," IEEE JSAC (Journal of Selected Areas in Communications), vol. 28, no. 4, pp. 612-619, May 2010.
- Abadal, S., Akyildiz, I. F., "Bio-Inspired Synchronization for Nanocommunication Networks," in Proc. of IEEE GLOBECOM 2011, Houston, USA, December 2011.
- B.a Krishnaswamy, C. M. Henegar, J. P. Bardill, D. Russakow, G. L. Holst, B. K. Hammer, C. R. Forest, R. Sivakumar, "When Bacteria Talk: Time Elapse Communication for Super-Slow Networks", IEEE International Conference on Communications, Budapest, Hungary, June, 2013.
- M. Gregori, I. Uatser, A. Cabellos-Aparicio, E. Alarcón, "Physical Channel Characterization for Medium-Range Nano-Networks using Flagellated Bacteria", Computer Networks 2010.
- A. Einolghozati, M. Sardari, A. Beirami, F. Fekri, "Data gathering in networks of bacteria colonies: Collective sensing and relaying using molecular communication", INFOCOM Workshops, 2012.
- S. Balasubramaniam, P. Lio, "Multi-hop Conjugation based Bacteria Nanonetworks", IEEE Transactions on NanoBioscience, vol. 12, no. 1, March 2013

Учени от Холандия и Южна Корея накараха бактерии да танцват с помощта на магнитно поле.



https://www.actualno.com/interest/kak-tancuvat-bakteriite-news_59726.html

Физиците използвали способността на някои видове бактерии към магнитотаксис – двигателна реакция на едноклетъчните организми на промените на външното магнитно поле. Това се случва заради наличието у тях на особена мембранна структура, която се състои от феромагнитни кристали, изпълняващи функцията на компас.

Учените успели да оптимизират управлението на движенията на бактерии, като създали специална прозрачна микросхема. Тя има няколко канала с дълбочина от пет микрометра, запълнени с течност, в която са поместени бактериите. Геометрията и размерите на каналите позволява на микроорганизмите да се придвижват свободно. С помощта на магнит, поставен над чипа специалистите се научили да управляват бактериите и да ги карат да извършват групови танцуващи движения. Според учените управлението на движението на бактериите в микроканалите с помощта на магнитно поле ще позволи да се доставят различни вещества и наночастици за лечението на различни заболявания.

<https://youtu.be/3uUL4ooM6KI>